

SURFACE-EMITTING LASER, AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR, LIGHT-RECEIVING ELEMENT, AND MANUFACTURING METHOD THEREFOR, AND OPTICAL TRANSMISSION MODULE

Publication number: JP2002353564

Publication date: 2002-12-06

Inventor: KANEKO TAKEO

Applicant: SEIKO EPSON CORP

Classification:

- international: H01L31/10; H01S5/026; H01S5/183; H01S5/42;
H01S5/00; H01S5/02; H01S5/042; H01L31/10;
H01S5/00; (IPC1-7): H01S5/183; H01L31/10; H01S5/42

- european: H01S5/026D; H01S5/183

Application number: JP20010157737 20010525

Priority number(s): JP20010157737 20010525

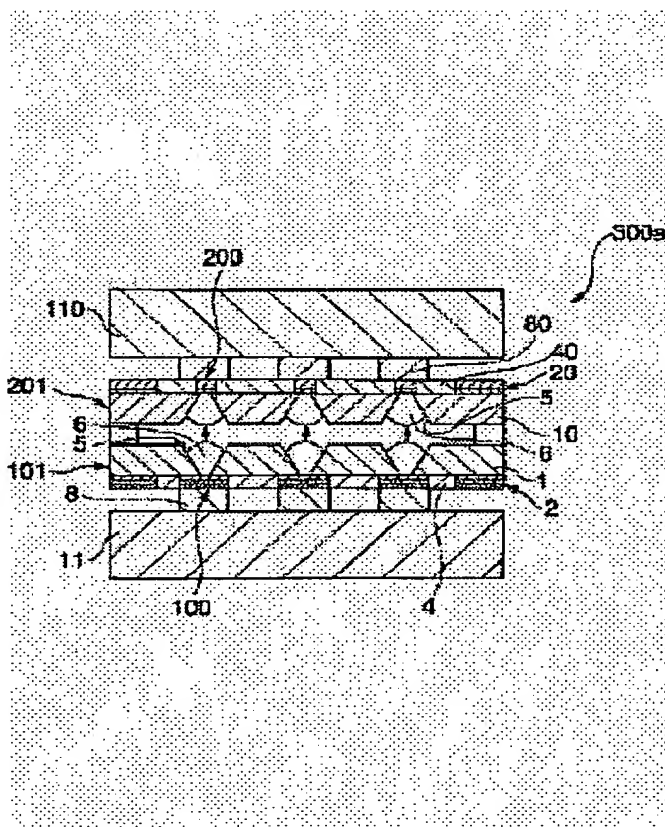
Also published as:

EP1263098 (A2)
US6999493 (B2)
US2002176468 (A1)
EP1263098 (A3)
CN1245790C (C)

[Report a data error here](#)

Abstract of JP2002353564

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a surface-emitting laser that can be operated at a low electric current, a method of manufacturing the laser, a light-receiving element that can make high-speed modulation, a method of manufacturing the element, and an optical transmission module with improved optical coupling efficiency. **SOLUTION:** Openings 5 are made via the semiconductor substrate 1 of the surface-emitting laser 100 from the other surface 1b side of the substrate 1 to the end section of a light-emitting section 2A on the substrate 1 side, and lenses 6 composed of a transparent resin are formed by utilizing the side faces of the openings 5. Openings 5 are also made via the semiconductor substrate 10 of a photodiode 200 from the other surface 10b side of the substrate 10 to the end section of a light-receiving section 20A on the substrate 10 side, and lenses 6 composed of a transparent resin are formed by utilizing the side faces of the openings 5. The lenses 6 respectively formed in the light-emitting section 2A of the laser 100 and light-receiving section 20A of the photodiode 200 are arranged to faced each other not via optical waveguides.



Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2002-353564
(P2002-353564A)

(43) 公開日 平成14年12月6日 (2002.12.6)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テマコード* (参考)
H 0 1 S 5/183		H 0 1 S 5/183	5 F 0 4 9
H 0 1 L 31/10		5/42	5 F 0 7 3
H 0 1 S 5/42		H 0 1 L 31/10	G

審査請求 未請求 請求項の数13 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2001-157737(P2001-157737)

(22) 出願日 平成13年5月25日 (2001.5.25)

(71) 出願人 000002369

セイコーエプソン株式会社
東京都新宿区西新宿2丁目4番1号

(72) 発明者 金子 丈夫

長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

(74) 代理人 100095728

弁理士 上柳 雅彦 (外1名)

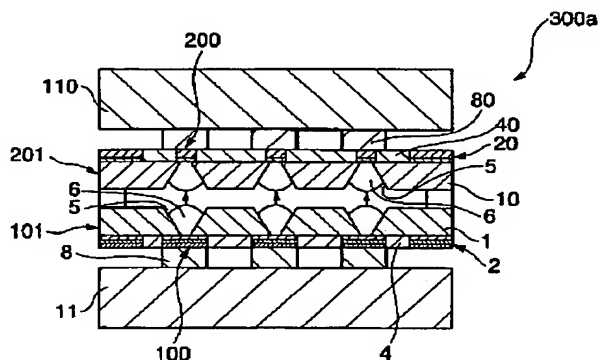
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 面発光レーザ、面発光レーザの製造方法、及び受光素子、受光素子の製造方法、並びに光伝送モジュール

(57) 【要約】

【課題】 低電流駆動を可能とした面発光レーザとその製造方法、及び高速変調を可能とした受光素子とその製造方法、並びに光結合効率を向上させた光伝送モジュールを提供することを課題としている。

【解決手段】 面発光レーザ100の半導体基板1に、半導体基板1の他面1b側から発光部2Aの半導体基板1側の端部まで至る開口部5を形成し、当該開口部5の側面を利用して透明の樹脂からなるレンズ6を形成する。フォトダイオード200の半導体基板10には、半導体基板10の他面10b側から受光部20Aの半導体基板10側の端部まで至る開口部5を形成し、当該開口部5の側面を利用して透明の樹脂からなるレンズ6を形成する。上記面発光レーザ100の発光部2Aに形成されたレンズ6と、フォトダイオード200の受光部20Aに形成されたレンズ6とを光導波路を介さずに対向配置する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 基板と、当該基板の一方の面に形成され、且つ、レーザ光を出射する発光部を有する半導体積層体と、当該発光部の積層方向に電流が流れるように電圧を印加する一対の電極と、を備えた面発光レーザにおいて、

前記基板は、当該基板の他方の面から前記発光部の前記基板側の端部まで至る開口部を有し、当該開口部に、その側面を利用することで形成されたレンズを備えたことを特徴とする面発光レーザ。

【請求項 2】 前記開口部は、前記基板の他方の面から前記発光部の前記基板側の端部に向かって狭まる空間であることを特徴とする請求項 1 記載の面発光レーザ。

【請求項 3】 前記レンズが、透明の樹脂製であることを特徴とする請求項 1 又は 2 記載の面発光レーザ。

【請求項 4】 前記発光部の前記基板とは逆側の面に形成される前記電極には、レーザ光を出射する出射口を開口しており、当該出射口から出射されるレーザ光を、モニタ用フォトダイオードに入射するようにしたことを特徴とする請求項 1～3 のいずれかに記載の面発光レーザ。

【請求項 5】 基板と、当該基板の一方の面に形成され、且つ、レーザ光を出射する発光部を有する半導体積層体と、当該発光部の積層方向に電流が流れるように電圧を印加する一対の電極と、を備えた面発光レーザにおいて、

前記発光部のレーザ光の出射側とは逆側の面に形成される電極には、レーザ光を出射する出射口を開口しており、当該出射口から出射されるレーザ光を、モニタ用フォトダイオードに入射するようにしたことを特徴とする面発光レーザ。

【請求項 6】 半導体基板の一方の面に積層した半導体積層体を垂直方向にエッチングし、レーザ光を出射する凸状の発光部を形成する工程と、
前記半導体基板の他方の面から前記発光部の前記半導体基板側の端部まで至る開口部を、前記半導体基板の他方の面から前記発光部の前記半導体基板側の端部に向かって狭まるように形成する工程と、
前記開口部内に透明の樹脂を注入する工程と、
前記樹脂を硬化させてレンズを形成する工程と、を有することを特徴とする面発光レーザの製造方法。

【請求項 7】 前記樹脂を注入する工程において、前記開口部の側面と前記半導体基板の他方の面との濡れ性の差を調節したのち、前記樹脂を注入するようにしたことを特徴とする請求項 6 記載の面発光レーザの製造方法。

【請求項 8】 基板と、当該基板の一方の面に形成され、且つ、レーザ光を入射する受光部と、を備えた受光素子において、
前記基板は、当該基板の他方の面から前記受光部の前記基板側の端部に至る開口部を有し、当該開口部に、その

側面を利用することで形成されたレンズを備えたことを特徴とする受光素子。

【請求項 9】 前記レンズが、透明の樹脂製であることを特徴とする請求項 8 記載の受光素子。

【請求項 10】 半導体基板の一方の面に形成した半導体層を垂直方向にエッチングし、レーザ光を入射する凸状の受光部を形成する工程と、

前記半導体基板の他方の面から前記受光部の前記半導体基板側の端部まで至る開口部を、前記半導体基板の他方の面から前記受光部の前記半導体基板側の端部に向かって狭まるように形成する工程と、
前記開口部内に透明の樹脂を注入する工程と、
前記樹脂を硬化させてレンズを形成する工程と、を有することを特徴とする受光素子の製造方法。

【請求項 11】 請求項 1～4 のいずれかに記載の面発光レーザを含むことを特徴とする光伝送モジュール。

【請求項 12】 請求項 8 又は 9 に記載の受光素子を含むことを特徴とする光伝送モジュール。

【請求項 13】 請求項 1～4 のいずれかに記載の面発光レーザと、請求項 8 又は 9 記載の受光素子とを含むことを特徴とする光伝送モジュール。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光データ通信用の発光素子、受光素子、及びこれらを用いた光伝送モジュールに関する。

【0002】

【従来の技術】光通信に利用される面発光レーザにおいて、高速変調を可能とするため、ワイヤを介さずに、フリップチップボンディングによって実装する手段がとられる場合がある。この手段によると、面発光レーザの半導体積層体の上面側を半田バンプ等で実装するため、レーザ光は半導体基板の下面側から出射される。

【0003】しかし、通常的面発光レーザから出射される波長は 850 nm であるため、ガリウム砒素基板を使用した場合にはレーザ光を透過できないという不具合があった。ここで、上記問題を解決するために、「IEEE PHOTONICS TECHNOLOGY LETTERS, VOL. 11, NO. 1, JANUARY 1999, p 128～130」において、面発光レーザの波長を 970 nm にする手段が提案されている。この提案によれば、ガリウム砒素基板を使用しても、レーザ光を透過することができるようになった。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】ところが、上記提案による 970 nm の波長では、受光側に使われるシリコンの PIN フォトダイオードの感度が落ちてしまうため、高価な InGaAs の PIN フォトダイオードを使用せざるを得なかった。また、発光素子である面発光レーザにおいては、特にアレイ化した場合の発熱問題を解消す

るために電流のかかる発光領域を狭くする必要があるが、そうすると、放射角が大きくなってしまい結合効率が低下するという不具合があった。ここで、放射角を小さくするために、発光部の上面にレンズを形成することが試みられているが、発光部から近距離に曲率半径の小さなレンズを精度よく形成することは困難であった。

【0005】さらに、受光素子であるフォトダイオードにおいては、その高速動作を実現させるために素子容量を低下させる必要があるが、そうすると、ファイバやレーザとの結合効率が低下するという不具合があった。さらに、面発光レーザを有する発光素子と、フォトダイオードを有する受光素子とを光学的に結合させる光伝送モジュールにおいては、面発光レーザから出射されるレーザ光の放射角を小さくし、フォトダイオードの受光面積をなるべく大きくする必要があった。

【0006】本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、850nmのレーザ光を透過可能とするとともに、低電流駆動を可能とした面発光レーザとその製造方法、及び高速変調を可能とした受光素子とその製造方法、並びに、光結合効率を良好とした光伝送モジュールを提供することを課題としている。

【0007】

【課題を解決しようとする手段】このような課題を解決するために、請求項1に係る発明は、基板と、当該基板の一方の面に形成され、且つ、レーザ光を出射する発光部を有する半導体積層体と、当該発光部の積層方向に電流が流れるように電圧を印加する一対の電極と、を備えた面発光レーザにおいて、前記基板は、当該基板の他方の面から前記発光部の前記基板側の端部まで至る開口部を有し、当該開口部に、その側面を利用することで形成されたレンズを備えた面発光レーザとしている。

【0008】請求項1に記載の面発光レーザにおいて、基板に、当該基板の他方（すなわち、半導体積層体が形成されていない側）の面から発光部の基板側の端部まで至る開口部を有するようにしたことによって、従来、ガリウム砒素基板を透過することが不可能であった850nmのレーザ光も透過することができるようになる。このため、受光側の素子として、安価なシリコンのPINフォトダイオードを使用することが可能となる。

【0009】また、基板に形成した開口部にレンズを備えたことによって、発光部より出射されるレーザ光の放射角を小さくすることができ、光結合効率を向上させることが可能となる。さらに、レンズを備えたことによって発光部を狭小とすることができ、低電流駆動を可能とし、アレイ化した場合に発生する発熱問題を解消することができる。

【0010】さらに、開口部の側面を利用することによって、発光部と離れた位置にレンズを形成することができるようになるため、曲率半径の大きなレンズを容易に形成することができる。よって、曲率半径の精度が良好

でなくても平行光を得ることができるため、光結合効率を向上させることが可能となる。請求項2に係る発明は、請求項1に記載の面発光レーザにおいて、開口部は、基板の他方の面から発光部の基板側の端部に向かって狭まる空間であるものとしている。

【0011】請求項2に記載の面発光レーザにおいて、開口部を、基板の他方（すなわち、半導体積層体が形成されていない側）の面から発光部の基板側の端部に向かって狭まる空間としたことによって、その側面には斜面が形成される。この斜面を利用することで、曲率半径の大きなレンズを容易に形成することが可能となる。請求項3に係る発明は、請求項1又は2に記載の面発光レーザにおいて、レンズが、透明の樹脂製であるものとしている。

【0012】請求項3に記載の面発光レーザにおいて、面発光レーザに形成されるレンズを透明の樹脂を硬化させることで形成するようにしたことによって、微小な開口部であっても容易且つ確実にレンズを形成することが可能となる。また、基板の表面と開口部の側面との濡れ性を調節することで、レンズの曲率半径を設定できるとともに凹レンズと凸レンズのどちらでも形成することができるため、設定条件に合ったレンズを容易且つ確実に形成することができる。

【0013】請求項4に係る発明は、請求項1～3のいずれかに記載の面発光レーザにおいて、発光部の基板とは逆側の面に形成される電極には、レーザ光を出射する出射口を開口しており、当該出射口から出射されるレーザ光を、モニタ用フォトダイオードに入射するようにしたものとしている。請求項4に記載の面発光レーザにおいて、発光部の基板とは逆側の面に形成される電極に、レーザ光の出射口を開口し、当該出射口から出射されるレーザ光をモニタ用フォトダイオードに入射するようにしたことによって、周囲温度等で変化する出力光パワーをモニタすることができ、駆動電流を制御することができる。また、発光部の基板側に設けた開口部からは光通信用のレーザ光を発光し、発光部の基板側とは逆側に設けた出射口からはモニタ用のレーザ光を出射するようにしたことによって、面発光レーザを高密度でアレイ化することができ、面発光レーザアレイの小型化が可能となる。

【0014】請求項5に係る発明は、基板と、当該基板の一方の面に形成され、且つ、レーザ光を出射する発光部を有する半導体積層体と、当該発光部の積層方向に電流が流れるように電圧を印加する一対の電極と、を備えた面発光レーザにおいて、前記発光部のレーザ光の出射側とは逆側の面に形成される電極には、レーザ光を出射する出射口を開口しており、当該出射口から出射されるレーザ光を、モニタ用フォトダイオードに入射するようにした面発光レーザとしている。

【0015】請求項5に記載の面発光レーザにおいて、

発光部のレーザ光の出射側とは逆側の面に形成される電極に、レーザ光の出射口を開口し、当該出射口から出射されるレーザ光をモニタ用フォトダイオードに入射するようにしたことによって、請求項4と同様に、周囲温度等で変化する出力光パワーをモニタすることができ、駆動電流を制御することができる。また、発光部の基板側に設けた開口部からは光通信用のレーザ光を発光し、発光部の基板側とは逆側に設けた出射口からはモニタ用のレーザ光を出射するようにしたことによって、面発光レーザを高密度でアレイ化することができ、面発光レーザアレイの小型化が可能となる。

【0016】請求項6に係る発明は、半導体基板の一方の面に積層した半導体積層体を垂直方向にエッチングし、レーザ光を出射する凸状の発光部を形成する工程と、前記半導体基板の他方の面から前記発光部の前記半導体基板側の端部まで至る開口部を、前記半導体基板の他方の面から前記発光部の前記半導体基板側の端部に向かって狭まるように形成する工程と、前記開口部内に透明の樹脂を注入する工程と、前記樹脂を硬化させてレンズを形成する工程と、を有する面発光レーザの製造方法としている。

【0017】請求項6に記載の面発光レーザの製造方法によれば、請求項1～4のいずれかに記載の面発光レーザを容易に製造することができる。請求項7に記載の発明は、請求項6に記載の面発光レーザの製造方法において、樹脂を注入する工程で、開口部の側面と半導体基板の他方の面との濡れ性の差を調節したのち、樹脂を注入するようにしたものとしている。

【0018】請求項7に記載の面発光レーザの製造方法によれば、樹脂を注入する工程において、開口部の側面と半導体基板の他方（すなわち、半導体積層体が形成されていない側）の面との濡れ性の差を調節することによって、開口部に所定形状のレンズを容易に形成することが可能となる。請求項8に係る発明は、基板と、当該基板の一方の面に形成され、且つ、レーザ光を入射する受光部とを備えた受光素子において、前記基板は、当該基板の他方の面から前記受光部の前記基板側の端部まで開口部を有し、当該開口部に、その側面を利用することで形成されたレンズを備えた受光素子としている。

【0019】請求項8に記載の受光素子において、基板に、基板の他方（すなわち、受光部が形成されていない側）の面から受光部の基板側の端部まで至る開口部を形成し、当該開口部に、レンズを備えたことによって、受光部の等価受光面積を拡大することができるため、受光素子の受光部を小さくすることが可能となる。よって、受光素子の光結合効率を良好に保持しつつ、高速動作を可能とすることができる。

【0020】また、開口部の側面を利用することによって、受光部と離れた位置にレンズを形成することができるようになるため、曲率半径の大きなレンズを容易に形

成することができる。よって、曲率半径の精度が良好でなくても平行光を得ることができるため、光結合効率を向上させることが可能となる。請求項9に係る発明は、請求項8に記載の受光素子において、レンズが、透明の樹脂製であるものとしている。

【0021】請求項9に記載の受光素子において、受光素子に形成されるレンズを透明の樹脂製としたことによって、請求項3と同様の効果が得られる。請求項10に係る発明は、半導体基板の一方の面に形成した半導体層を垂直向にエッチングして、レーザ光を入射する凸状の受光部を形成する工程と、前記半導体基板の他方の面から前記受光部の前記半導体基板側の端部まで至る開口部を、前記半導体基板の他方の面から前記受光部の前記半導体基板側の端部に向かって狭まるように形成する工程と、前記開口部内に透明の樹脂を注入する工程と、前記樹脂を硬化させてレンズを形成する工程と、を有する受光素子の製造方法としている。

【0022】請求項10に記載の受光素子の製造方法によれば、請求項8又は9に記載の受光素子を容易に製造することができる。請求項11に係る発明は、請求項1～4のいずれかに記載の面発光レーザを含む光伝送モジュールとしている。請求項11に記載の光伝送モジュールにおいて、請求項1～4のいずれかに記載の面発光レーザを含むことによって、低電流駆動を可能とし、光結合効率が良好である光伝送モジュールを提供することができる。

【0023】請求項12に係る発明は、請求項8又は9に記載の受光素子を含む光伝送モジュールとしている。請求項12に記載の光伝送モジュールにおいて、請求項8又は9に記載の受光素子を含むことによって、高速変調を可能とし、光結合効率が良好である光伝送モジュールを提供することができる。

【0024】請求項13に係る発明は、請求項1～4のいずれかに記載の面発光レーザと、請求項8又は9に記載の受光素子を含む光伝送モジュールとしている。請求項13に記載の光伝送モジュールにおいて、請求項1～4のいずれかに記載の面発光レーザと、請求項8又は9に記載の受光素子を含むことによって、低電流駆動及び高速変調を可能とし、光結合効率が良好である光伝送モジュールを提供することができる。また、発光素子と受光素子の双方にレンズが形成されているため、光導波路を介さずに直接光結合させるICチップ間での光データ通信を可能とすることができる。

【0025】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。図1は、本発明に係る一実施形態を示す面発光レーザの断面図である。面発光レーザ100は、図1に示すように、垂直共振器型面発光レーザ（VCSEL）であり、250μmの厚さを有するn型GaAsからなる半導体基板1と、その一面（図1

における下面) 1a側に形成され、発光部2Aと補強部2Bとを凹部2Cを介して分割している半導体積層体2と、発光部2Aの積層方向に電流が流れるように電圧を印加する一対の電極3と、から構成されており、この面発光レーザ100の半導体積層体2を下側に向けて駆動基板11に実装されている。

【0026】この半導体積層体2は、基板1の一面1a側から順に積層された、エッチングストップ層21、n型DBR層22、n型スペーサ層23、MQW活性層24、p型スペーサ層25、電流狭窄層26、p型DBR層27、p型コンタクト層28からなる。エッチングストップ層21は、100nmの厚さを有し、n型Al_{0.8}Ga_{0.2}As層からなる。n型DBR層22は、n型Al_{0.15}Ga_{0.85}As層とn型Al_{0.86}Ga_{0.14}As層とからなる28ペアの多重層である。n型スペーサ層23は、n型Al_{0.15}Ga_{0.85}As層からなる。MQW活性層24は、GaAsからなる3層の量子井戸層からなる。p型スペーサ層25は、p型Al_{0.15}Ga_{0.85}As層からなる。

【0027】電流狭窄層26は、p型AlAsからなる。この電流狭窄層26は、所定直径の円の範囲内にあり、その周囲数μmには酸化アルミニウムからなる絶縁体層26aが形成されている。この電流狭窄層26は、p型金属電極3Aからの電流を、発光部2Aの中央部に集中させるために形成されている。p型DBR層27は、n型Al_{0.15}Ga_{0.85}As層とp型Al_{0.86}Ga_{0.14}As層とからなる36ペアの多重層である。p型コンタクト層28は、p型Al_{0.15}Ga_{0.85}As層からなる。

【0028】この半導体積層体2は、半導体基板1の一面1a側にこれらの層を順次積層したのち、半導体基板1の表面が露出するように垂直方向にエッチングすることによって、リング状の凹部2Cを形成し、当該凹部2Cを介して、円柱形状の発光部2Aとその周囲の補強部2Bとを分割させている。この凹部2Cにおける発光部2Aの周囲には、ポリイミド等絶縁性物質4が埋め込まれている。

【0029】p型金属電極3Aは、発光部2Aにおける半導体基板1とは逆側の面(図1において発光部2Aの下面)にリング状に形成されており、p型コンタクト層28とコンタクトされている。このリング状の中央部はモニタ用のレーザ光が出射する出射口7aとなっている。p型金属電極3Aの形成材料は、クロムと、金-亜鉛合金と、金とからなる。

【0030】n型金属電極3Bは、補強部2Bを覆うように、補強部2Bにおける半導体基板1とは逆側の面(図1において補強部2Bの下面)及び側面、さらに半導体基板1の一面1a側の一部に形成されており、p型コンタクト層28とコンタクトされている。n型金属電極3Bの形成材料は、金-ゲルマニウム合金と、ニッケ

ルと、金とからなる。

【0031】この面発光レーザ100の半導体基板1には、半導体基板1の他面(図1における上面)1b側から発光部2Aの半導体基板1側の端部に至る開口部5が、半導体基板1の他面1b側を底面とした四角錐状に形成されている。この開口部5には、半導体基板1の他面1b側に向けて、透明の樹脂からなる曲率半径の大きな凸状のレンズ6が形成されている。このレンズ6の凸状は、透明の樹脂を開口部5内に注入した際、樹脂の表面張力によって盛り上がった部分をそのまま硬化させることで形成している。ここで、樹脂の形成材料としては、波長850nmで透明な材料であれば、弗化ポリイミドやPMMA等熱硬化性樹脂や可視光線や紫外線硬化型のエポキシ樹脂等いずれの樹脂を用いても構わない。

【0032】そして、上記構成からなる面発光レーザ100のn型金属電極3Bに、半田バンプ8が形成され、フリップチップボンディングによって、複数のVCSEL用送信回路を有する駆動基板11に実装されている。この駆動基板11には、面発光レーザ100におけるp型金属電極3Aに開口されたモニタ用のレーザ光の出射口7aと対向する位置に、モニタ用フォトダイオード7が形成されている。

【0033】上記構成の面発光レーザ100では、p型金属電極3A及びn型金属電極3B間に電圧を印加することで発光部2Aの積層方向に電流が流れ、半導体基板1の他面(図1における上面)1b側に設けた開口部5に備えたレンズ6より、レーザ光を出射する。このとき、発光部2Aの半導体基板1とは逆側の面(図1における下面)に形成した出射口7aより出射されるモニタ用のレーザ光を、半導体基板1とは逆側の駆動基板11に形成したモニタ用フォトダイオード7で吸収し、出力光パワーのモニタを行う。

【0034】次に、本発明の実施形態に係る面発光レーザ100の製造方法について、図3～図8を参照して説明する。図3～図8は、それぞれ本発明に係る面発光レーザの一製造工程を示す断面図である。まず、図3に示すように、GaAsからなる高抵抗の半導体基板1の一面(図3における上面)1aに、エッチングストップ層21、n型DBR層22、n型スペーサ層23、MQW活性層24、p型スペーサ層25、電流狭窄層26、p型DBR層27、p型コンタクト層28、を順次積層する。

【0035】上記各半導体積層体2は、有機金属CVD(MOCVD|Metal Organic Chemical Vapor Deposition)法でエピタキシャル成長させる。ここで、MOCVD法に限らず、MBE(Molecular Beam Epitaxy)法を用いても構わない。そして、p型コンタクト層28上に、フォトリソを塗布した後、フォトリソグラフィにより当該フォトリソをパターニングす

ることで、発光部 2A の周囲のみにエッチングを施すための所定パターンのレジスト層を形成する。次いで、このレジスト層をマスクとして、図 4 に示すように、半導体基板 1 が露出するまでドライエッチングをし、リング状の凹部 2C を形成する。ここで、半導体積層体 2 に、凹部 2C を介して、円柱状の発光部 2A とその周囲の補強部 2B とが形成される。

【0036】そして、p 型 AlAs からなる電流狭窄層 26 を、400℃程度の水蒸気を含んだ窒素雰囲気下でさらすことによって、AlAs 層がその露出面から内側へと酸化され、AlAs からなる半導体層の回りに酸化アルミニウムからなる絶縁体層 26a が形成される。ここで、絶縁体層 26a は、発光部 2A の中央に残される半径 2 μm 程度の電流狭窄層 26 の外周囲にリング状に形成される。

【0037】そして、図 5 に示すように、発光部 2A となる半導体積層体 2 の上面及び側面にレジスト 3a を形成したのち、金-ゲルマニウム合金 150nm、ニッケル 100nm、金 100nm を順に蒸着する。ここで、補強部 2B となる半導体積層体 2 の上面、側面、及び半導体基板 1 の一面（図 5 における上面）1a の一部に n 型金属電極 3B が形成される。

【0038】そして、前工程のレジスト 3a をアセトンによって剥離したのち、図 6 に示すように、発光部 2A となる半導体積層体 2 の上面を残して、n 型金属電極 3B と同様にレジスト 3b を形成する。その後、クロム 100nm、金-亜鉛合金 100nm、金 10nm を順に蒸着する。さらに、n 型金属電極 3B と同様にレジスト 3b を剥離して、p 型金属電極 3A が形成される。

【0039】そして、図 7 に示すように、上記工程を経て形成された面発光レーザを半導体基板 1 が上方に位置するように設置し直したのち、半導体基板 1 の他面（図 7 における上面）1b 側に、150nm の酸化シリコン膜 5a を形成する。次いで、酸化シリコン膜 5a 上にレジストを形成し、両面アライナーにより発光部 2A の中心に合わせて円形の開口レジストパターンを形成する。このレジストパターンを利用して、四フッ化炭素等の反応性イオンエッチング（RIE | Reactive Ion Etching）により酸化シリコン膜 5a に円形の開口を形成する。そして、当該酸化シリコン膜 5a パターンをマスクとして、60℃の溶液中で約 10 μm/min の速度でウェットエッチングを行う。ここで、n 型 GaAs からなる半導体基板 1 の結晶構造により、半導体基板 1 の他面 1b が底面となる四角錐状の開口部 5 が形成される。当該開口部 5 のエッチングストップ層 21 上での開口直径は、電流狭窄層 26 の直径よりも 2 μm より大きく、発光部 2A 直径より小さくなるようにする。これは、面発光レーザ 100 中でのレーザ光の広がりにより、半導体基板 1 での吸収を抑制するためである。ここで、本実施の形態においては、電流狭窄層 26

の直径が 4 μm であるため、エッチングストップ層 21 の開口直径は 6 μm であることが望ましい。さらに、このウェットエッチングにおいて、 $3\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O}$ や、 $5\text{H}_2\text{PO}_4$ 等、等方性のエッチング液を用いると、円形の形状に開口が形成されるため、等方的なレンズ 6 を形成するために有効である。

【0040】そして、酸化シリコン膜 5a をフッ化水素中、或いはドライエッチングによって除去した後、図 8 に示すように、四フッ化炭素ガスのプラズマ処理によって、半導体基板 1 の他面 1b（図 8 における上面）における撥水性を調節する。その後、実装基板 11 を水平に保持した状態で、インクジェット（IJ）法等により、透明な樹脂を開口部 5 に注入する。すると、開口部 5 に注入された樹脂は、表面張力によって表面が盛り上がった状態となる。その後、その実装基板 11 を水平に保持し、上記した樹脂の状態を保った状態で、熱や可視光線、紫外線によって硬化する樹脂の性質を利用して、樹脂を硬化させる。ここで、樹脂の表面張力によって形成された凸状のレンズ 6 が完成する。

【0041】尚、半導体基板 1 の他面 1b では樹脂に対して撥水性を有するようにし、開口部 5 の側面では樹脂に対して親水性を有するように調節を行ったのちに、上記 IJ 法等で透明な樹脂を開口部 5 に注入すれば、濡れ性の差により、開口部 5 には凹状のレンズ 6 を形成することも可能である（図示せず）。ここで、樹脂の開口部 5 への注入方法として、次のような方法も考えられる。

【0042】まず、開口部 5 を形成した半導体基板 1 の他面 1b 側に、レジストやポリイミド、或いは SAM（Self-Assembly）膜等の GaAs からなる半導体基板 1 とは異なる膜を形成する。そして、パターンニングにより、開口部 5 のみ膜を除去し、必要があればプラズマ処理等により開口部 5 の側面と半導体基板 1 の他面 1b 側との濡れ性の差を調整する。

【0043】次に、半導体基板 1 の他面 1b 側に残った膜上では、樹脂に対して撥水性を持つようにし、開口部 5 では親水性を持つようにして、半導体基板 1 の他面 1b に樹脂を塗布する。すると、半導体基板 1 の他面 1b 側の膜上と、開口部 5 の側面との濡れ性の差により、親水性の開口部 5 のみに樹脂が残され、凹状のレンズ 6 が形成される。

【0044】一方、上記 SAM 膜等を、半導体基板 1 の他面 1b 及び開口部 5 に形成し、樹脂に対して撥水性を持つようにすると、開口部 5 には凸状のレンズ 6 が形成されるようになる。上記のように、レンズ 6 の曲率半径は、半導体基板 1 の他面 1b と開口部 5 の側面との濡れ性の差により決定されるため、用途に応じて自由に変更することができる。また、屈折率の大きな樹脂を使用するようにすれば、レンズ 6 の曲率半径を大きくすることが可能となり、製造マージンを広げることが可能となる。本発明の実施形態のように 250 μm 厚の GaAs

からなる半導体基板1においては、屈折率 $n=1.6$ の樹脂で曲率半径 $R=100$ 程度とするのが望ましい。この条件のレンズ6を形成して測定した結果、レンズ6が無い場合の放射角が半値全角で 25° と広がっていたにも拘わらず、レンズ6を形成した場合には、放射角は 6° と狭ビームを得ることができた。

【0045】本発明における面発光レーザ100において、半導体基板1に、半導体基板1の他面（半導体積層体が形成されていない面）側から、発光部2Aの半導体基板1側の端部まで至る開口部5を形成したことによって、その開口部5からレーザ光を出射させることができる。よって、ガリウム砒素基板を使用しても、 850nm のレーザ光を出射させることができるようになるため、受光素子として安価なシリコンのPINフォトダイオードを使用することができる。

【0046】また、半導体基板1に形成した開口部5に、レンズ6を形成したことによって、発光部2Aより出射されるレーザ光の放射角を小さくすることができ、光結合効率を向上させることが可能となる。さらに、レンズ6を形成することによって、発光部2Aを狭小化することが可能となるため、低電流駆動を可能とし、アレイ化した場合に発生する発熱問題を解消することができる。

【0047】さらに、開口部5の側面を利用してレンズ6を形成するようにしたことによって、発光部2Aと離れた位置にレンズ6を形成することができるようになるため、曲率半径の大きなレンズ6を容易に形成することができる。よって、曲率半径の精度が良好でなくても、平行光を得ることができるため、光結合効率を向上させることが可能となる。

【0048】さらに、レンズ6を、透明の樹脂を硬化させることで形成するようにしたことによって、微小な開口部5であっても、容易且つ確実にレンズ6を形成することが可能となる。また、半導体基板1の他面1bと開口部5の側面との濡れ性を調節することで、曲率半径を自由に設定できるとともに、凹レンズ、凸レンズのどちらでも形成することができるため、設定条件に最適なレンズ6を容易且つ確実に形成することができる。

【0049】さらに、基板を半導体基板1とすることで半導体基板1の結晶性によって開口部5が形成されるため、容易且つ確実に斜面を有する開口部5を形成することができる。さらに、面発光レーザ100の発光部2Aの半導体基板1とは逆側の面に形成された電極3に射出口7aを設け、この射出口7aから出射されるモニタ用のレーザ光をモニタ用フォトダイオード7に入射するようにしたことによって、面発光レーザを高密度にアレイ化することが可能となり、面発光レーザアレイを小型化するために有効である。

【0050】次いで、本発明における受光素子であるフォトダイオード200について、図面を参照して説明す

る。図2は、本発明に係る一実施形態を示すフォトダイオードの断面図である。フォトダイオード200は、シリコンのPINフォトダイオードであり、図2に示すように、 p^+ 拡散層のシリコンからなる半導体基板10と、その一面（図2における下面）10a側に形成される半導体層20と、当該半導体層20の半導体基板10とは逆側の面（図2における下面）に形成される酸化シリコン膜からなる絶縁層24aと、一对の電極30と、から構成されており、このフォトダイオード200は半導体層20を下側に向けて駆動基板110に実装されている。半導体層20は、半導体基板（ p 層）10の一面（図2における上面）10aに、 p^- 拡散層からなる光吸収層（ i 層）21aが形成され、この i 層21aの半導体基板10とは逆側の表面（図2における下面）には、 p^+ 領域23aで囲まれた n^+ 領域（ n 層）22aが形成され、PINフォトダイオードを形成している。

【0051】この半導体層20が形成された半導体基板10は、 i 層21aが露出するように、垂直方向にエッチングすることでリング状の凹部20Cを形成し、当該凹部20Cを介して、円柱形状の受光部20Aと、その周囲の補強部20Bとを分割させている。この凹部20Cにおける受光部20Aの周囲には、ポリイミド等絶縁性物質40が埋め込まれている。

【0052】 p 型金属電極30Aは、少なくとも受光部20Aの半導体基板10とは逆側の面に形成され、 n 型金属電極30Bは、 p 型金属電極30Aが形成されていない補強部20Bの半導体基板10とは逆側の面に形成されている。このフォトダイオード200の半導体基板10には、上述した面発光レーザ100と同様に、半導体基板10の他面10b側から受光部20Aの半導体基板1側の端部まで至る開口部5が、半導体基板10の他面10b側を底面とした四角錐状に形成されている。この開口部5には、半導体基板10の他面10b側に向けて、透明の樹脂からなる曲率半径の大きな凸状のレンズ6が形成されている。

【0053】そして、上記構成からなるフォトダイオード200の p 型金属電極30A及び n 型金属電極30Bの上面に半田バンプ80が形成され、フリップチップボンディングによって、複数のフォトダイオード用受信回路を有する駆動基板110に実装されている。上記構成のフォトダイオード200では、 p 型金属電極30A及び n 型金属電極30B間に逆バイアス電圧を印加して、 i 層21aを空乏層とすることにより、受光部20Aから入射されたレーザ光を吸収して光電流に変換する。

【0054】ここで、本発明におけるフォトダイオード200において、半導体基板10に、半導体基板10の他面10b側から受光部20Aの半導体基板10側の端部まで至る開口部5を形成し、当該開口部5にレンズ6を備えたことによって、受光部20Aの等価受光面積を大きくすることができる。よって、フォトダイオード2

10

20

30

40

50

00の素子容量を小さくすることができるため、光結合効率を保持しつつ、フォトダイオード200の高速動作を実現させることが可能となる。

【0055】また、面発光レーザ100と同様に、半導体基板10に形成した開口部5の側面を利用してレンズ6を形成するようにしたことによって、受光部20Aと離れた位置にレンズ6を形成することができるようになるため、曲率半径の大きなレンズ6を容易に形成することが可能となる。次いで、本発明に係る一実施形態を示す光伝送モジュール300aについて、図9を参照して説明する。図9は、本発明に係る一実施形態を示す光伝送モジュールの断面図である。

【0056】この光伝送モジュール300aは、上述の面発光レーザ100をアレイ化した面発光レーザアレイ101と、上述のフォトダイオード200をアレイ化したフォトダイオードアレイ201とから構成されている。ここで、面発光レーザ100の発光部2Aに形成したレンズ6と、フォトダイオード200の受光部20Aに形成したレンズ6とが、光学的に対向するように積層して配置されている。

【0057】上記光伝送モジュール300aでは、VCSSEL用送信回路を有する駆動基板11から印加された電圧によって発光部2Aで発生したレーザ光が、半導体基板1の他面(図9における上面)に形成されたレンズ6から出射される。このレーザ光は、対向する位置に配置されたフォトダイオード200のレンズ6から受光部20Aに入射し、フォトダイオード用受信回路を有する駆動基板110から電圧が印加されることでレーザ光を光電流に変換させる。

【0058】ここで、本発明の光伝送モジュール300aにおいて、面発光レーザ100の発光部2A及びフォトダイオード200の受光部20Aの双方にレンズ6が形成されているため、光ファイバ等の光導波路を使用しなくても、光結合効率を良好にすることが可能となる。このため、光軸調整等の手間を削減させた光伝送モジュール300aを提供することができる。

【0059】また、発光部2Aを狭小とした面発光レーザ100を発光素子として使用しているため、低電流駆動が可能となり、アレイ化する際の発熱を抑制することができる。さらに、素子容量を小さくしたフォトダイオード200を受光素子として使用しているため、高速動作を実現させることができる。

【0060】さらに、面発光レーザ100及びフォトダイオード200を間隔を空けてアレイ化しているため、隣接する素子どうしの相互干渉を抑制することができる。次いで、本発明に係る他の実施形態を示す光伝送モジュール300bについて、図10を参照して説明する。図10は、本発明に係る他の実施形態を示す光伝送モジュールの断面図である。

【0061】この光伝送モジュール300bは、上述の

面発光レーザ100をアレイ化した面発光レーザアレイ101と、上述のフォトダイオード200をアレイ化したフォトダイオードアレイ201と、一対のミラーデバイス400とから構成される。ここで、面発光レーザアレイ101と、フォトダイオードアレイ201とは、ともに同一面に並列して配置されており、面発光レーザ100に形成したレンズ6と、フォトダイオード200に形成したレンズ6とは、ともに上方向を向いている。また、一対のミラーデバイス400のうち、第1のミラーデバイス400aは面発光レーザ100の発光部2Aの上面に形成され、第2のミラーデバイス400bはフォトダイオード200の受光部20Aの上面に形成されている。

【0062】ここで、面発光レーザ100の発光部2Aから出射されたレーザ光は、第1のミラーデバイス400aに当たって反射することで第2のミラーデバイス400bに当たり、さらに第2のミラーデバイス400bに当たったレーザ光が反射することでフォトダイオード200の受光部20Aに入射される。この光伝送モジュール300bにおいて、面発光レーザ100の発光部2A及びフォトダイオード200の受光部20Aの双方にレンズ6が形成されていることによって、レーザ光の放射角が小さくなり、ミラーデバイス400の反射を利用して光結合を行うことも可能となる。このとき、このミラーデバイス400を可動とし、レーザ光が当たる場合と当たらない場合とを調節するようにすれば、ミラーデバイス400を光伝送モジュール300bのスイッチングとして使用することも期待できる。

【0063】次いで、本発明に係る他の実施形態を示す光伝送モジュール300cについて、図11を参照して説明する。この光伝送モジュール300cは、上述の面発光レーザ100をアレイ化した面発光レーザアレイ101と、上述のフォトダイオード200をアレイ化したフォトダイオードアレイ201と、光ファイバ500とから構成される。ここで、面発光レーザ100の発光部2Aと、フォトダイオード200の受光部20A間は光ファイバ500で接続されている。

【0064】ここで、発光部2Aと受光部20Aとを光ファイバ500で接続するようにしたことによって、レーザ光の光結合効率を安定させることが可能である。但し、光ファイバ500等の光導波路を用いるためには、面発光レーザ100、光ファイバ500、及びフォトダイオード200のそれぞれの光軸を調整する必要がある。

【0065】ここで、本実施の形態においては、受光素子としてPINフォトダイオードを用いたが、これに限らず、フォトトランジスタ等いずれの受光素子を使用しても構わない。また、本発明における光伝送モジュール300において、発光素子と受光素子のうち、少なくともいずれか一方にレンズ6を形成するのであれば、本実

施の形態に限らない。

【0066】また、本実施の形態において、面発光レーザ100及びフォトダイオード200のそれぞれの半導体基板1、10は、これに限らず、その他の基板を使用することも可能である。

【0067】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の面発光レーザによれば、基板の他方（すなわち、半導体積層体の形成されていない側）の面から発光部の基板側の端部まで至る開口部を形成したことによって、ガリウム砒素基板を用いても850nmのレーザ光を通過させることが可能となった。

【0068】また、開口部に、レンズを備えたことによって、光結合効率を向上させるとともに、低電流駆動を可能とした面発光レーザを提供することが可能となる。さらに、開口部の側面を利用することによって、発光部と離れた位置にレンズを形成することができるため、曲率半径の大きなレンズを容易に形成することが可能となる。

【0069】さらに、レンズを透明の樹脂製としたことによって、微小な開口部であっても、設定条件に最適なレンズを容易且つ確実に形成することが可能となる。特に、請求項4及び5に記載の面発光レーザによれば、面発光レーザを高密度でアレイ化することができるようになり、面発光レーザアレイの小型化が可能となる。

【0070】また、本発明の受光素子によれば、基板の他方（すなわち、受光部が形成されていない側）の面から受光部の基板側の端部まで至る開口部を形成し、当該開口部に、その斜面を利用することで形成されたレンズを備えたことによって、光結合効率を向上させるとともに、高速変調を可能とした受光素子を提供することが可能となる。

【0071】さらに、本発明における光伝送モジュールによれば、光結合効率を良好にするとともに、低電流駆動や高速変調を可能とした光伝送モジュールを提供することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る一実施形態を示す面発光レーザの断面図である。

【図2】本発明に係る一実施形態を示すフォトダイオードの断面図である。

【図3】本発明に係る面発光レーザの一製造工程を示す断面図である。

【図4】本発明に係る面発光レーザの一製造工程を示す断面図である。

【図5】本発明に係る面発光レーザの一製造工程を示す断面図である。

【図6】本発明に係る面発光レーザの一製造工程を示す断面図である。

【図7】本発明に係る面発光レーザの一製造工程を示す断面図である。

【図8】本発明に係る面発光レーザの一製造工程を示す断面図である。

【図9】本発明に係る一実施形態を示す光伝送モジュールの断面図である。

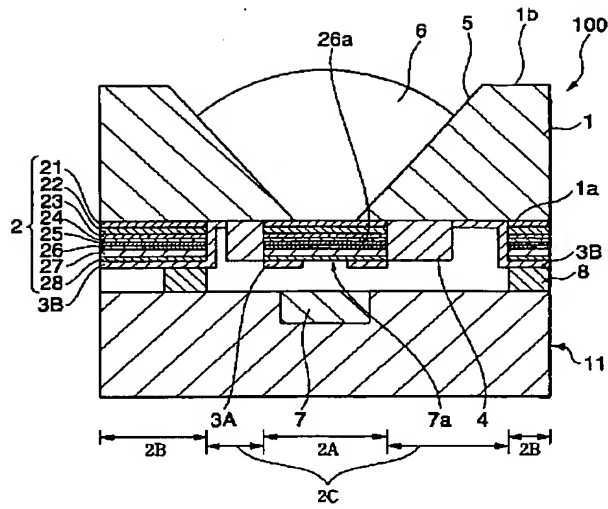
【図10】本発明に係る他の実施形態を示す光伝送モジュールの断面図である。

【図11】本発明に係る他の実施形態を示す光伝送モジュールの断面図である。

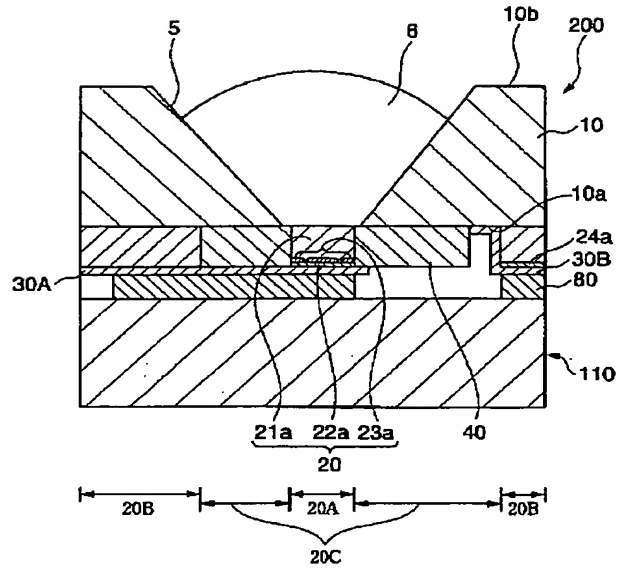
【符号の説明】

1、10	半導体基板（ガリウム砒素基板）
2	半導体積層体
2A	発光部
2B	補強部
2C	凹部
3A、30A	p型金属電極
3B、30B	n型金属電極
4、40	絶縁性物質
5	開口部
6	レンズ
7	モニタ用フォトダイオード
7a	出射口
8、80	半田パンパ
11、110	駆動基板
20	半導体層
20A	受光部
20B	補強部
20C	凹部
21	エッチングストップ層
21a	光吸収層
22	n型DBR層
22a	n ⁺ 領域（n層）
23	n型スペーサ層
23a	p ⁺ 領域
24	MQW活性層
24a	絶縁層
25	p型スペーサ層
26	電流狭窄層
26a	絶縁体層
27	p型DBR層
28	p型コンタクト層
100	面発光レーザ
101	面発光レーザアレイ
200	フォトダイオード（受光素子）
201	フォトダイオードアレイ
300	光伝送モジュール
400	ミラーデバイス
500	光ファイバ

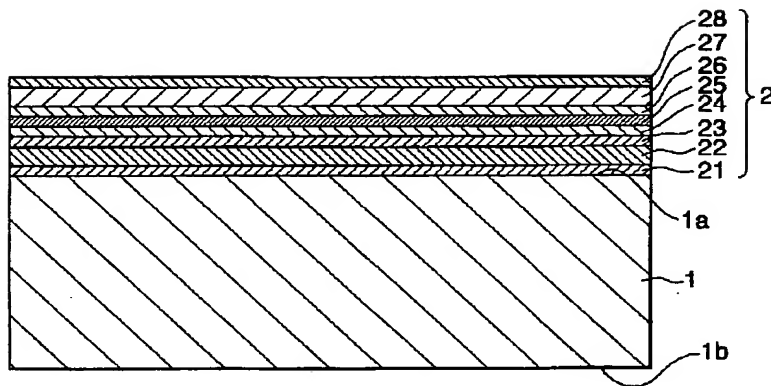
【図 1】



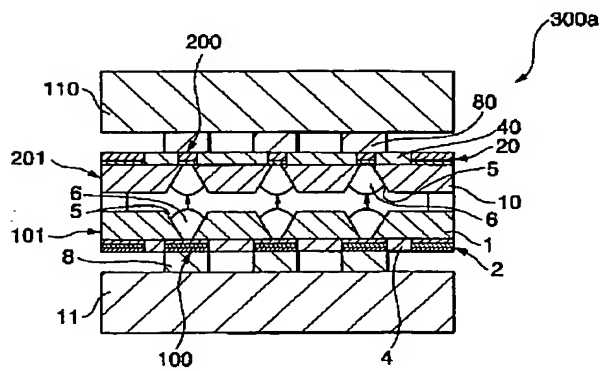
【図 2】



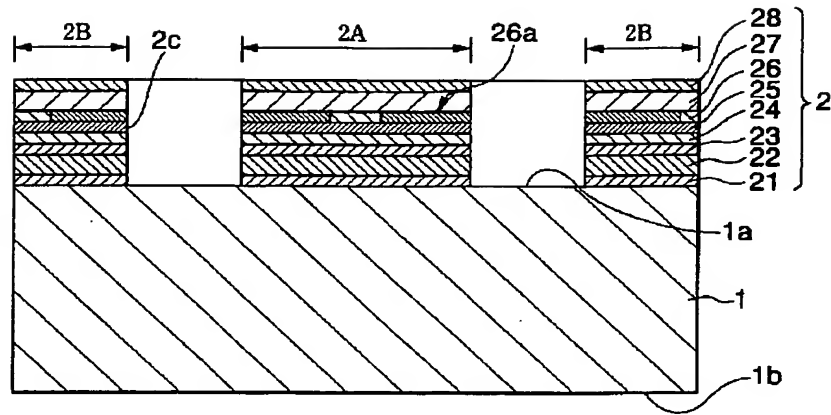
【図 3】



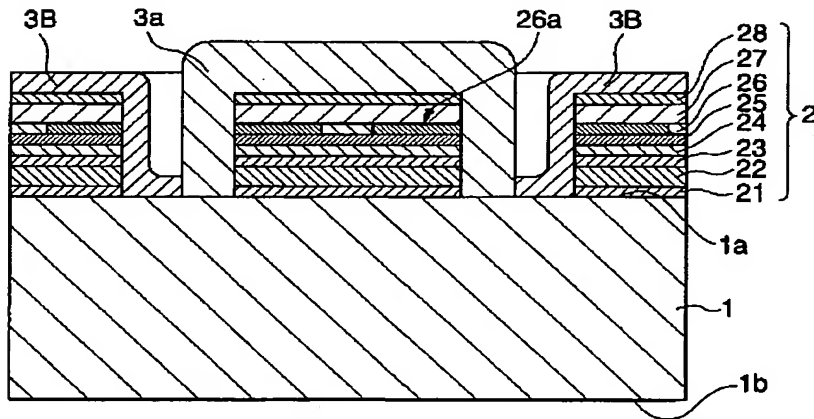
【図 9】



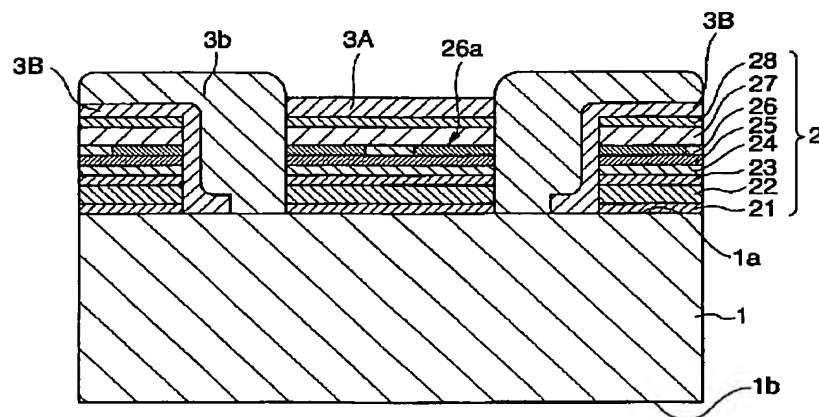
【図 4】



【図 5】

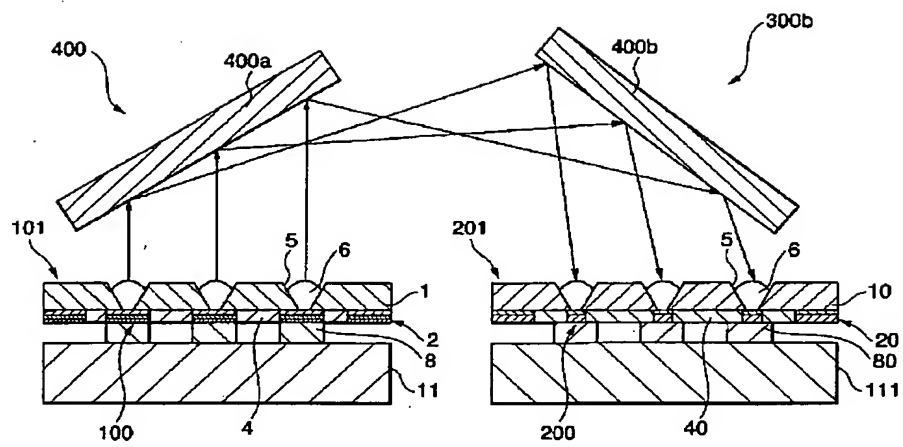


【図 6】

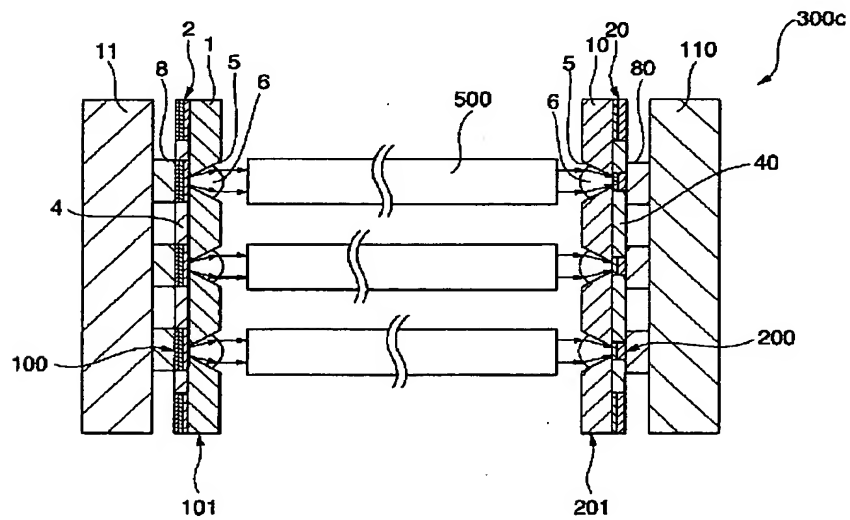


[illegible]

【図10】



【図11】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5F049 MA04 NA03 NA15 NA19 NB01
 RA02 RA07 TA14 WA01
 5F073 AA07 AA53 AA65 AA74 AB05
 AB15 AB17 AB28 BA02 CA04
 CB02 DA05 DA24 DA25 EA11
 FA04 FA30